

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 982 176 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
01.03.2000 Bulletin 2000/09

(51) Int Cl.7: B60L 11/18

(21) Numéro de dépôt: 99402060.0

(22) Date de dépôt: 13.08.1999

(84) Etats contractants désignés:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Etats d'extension désignés:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeur: Gibard, Philippe  
17000 La Rochelle (FR)

(74) Mandataire: Obolensky, Michel et al  
c/o CABINET LAVOIX  
2, place d'Estienne d'Orves  
75441 Paris Cédex 09 (FR)

(30) Priorité: 28.08.1998 FR 9810830

(71) Demandeur: Alstom France SA  
75116 Paris (FR)

## (54) Système d'alimentation d'un véhicule à traction électrique

(57) Système d'alimentation d'un véhicule à traction électrique équipé de moteurs électriques de traction (M1 à M4) alimentés par un système de traction et des moyens à pantographe (2) de connexion du système de traction (1) à une caténaire (3), caractérisé en ce qu'il comporte en outre en combinaison, un dispositif d'alimentation autonome embarqué à bord d'un véhicule et comprenant un système (5) à accumulation cinétique

d'énergie à machine tournante à rotor formant volant d'inertie et fonctionnant soit en moteur, soit en génératrice, des moyens (2,18) de connexion du système (5) à accumulation cinétique d'énergie en régime de charge au secteur d'alimentation pendant les arrêts du véhicule dans des stations, et en régime de décharge, au système de traction (1), ledit système (5) à accumulation cinétique d'énergie étant un système de récupération de l'énergie de freinage du véhicule.

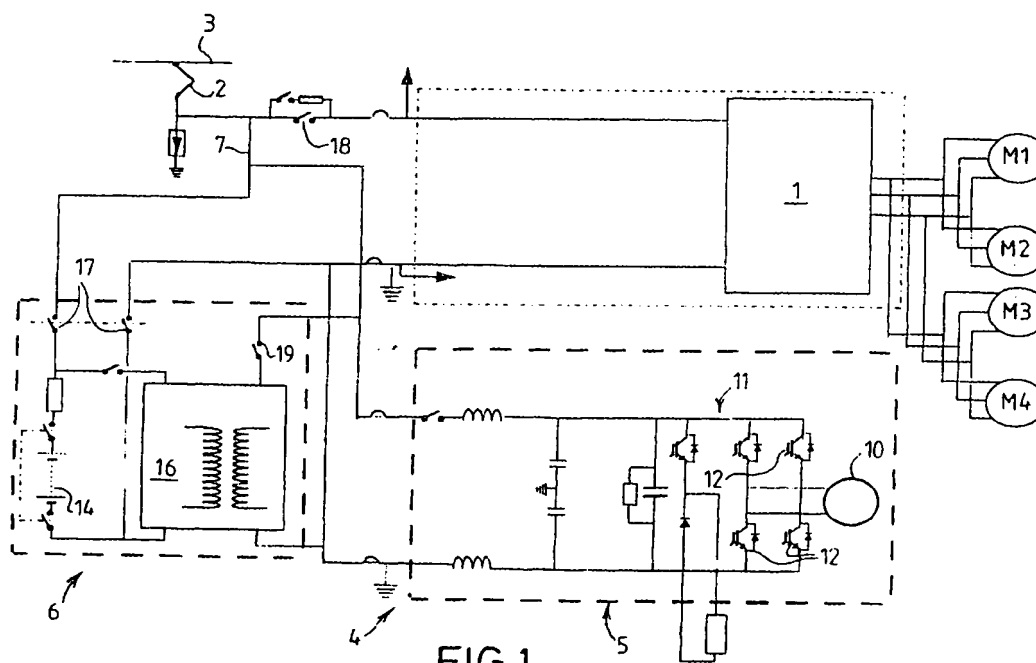


FIG. 1

EP 0 982 176 A1

## Description

[0001] La présente invention est relative à l'alimentation en énergie électrique de véhicules de transport en commun à traction électrique et se rapporte plus particulièrement à l'alimentation en énergie électrique de tramways.

[0002] Compte tenu de l'accroissement de la circulation urbaine, il devient nécessaire de pouvoir faire circuler des véhicules de transport en commun tels que des tramways de grande capacité pouvant atteindre 30 à 40 m de longueur et ceci sans faire appel à une alimentation par caténaire, en particulier dans les centres des villes très encombrés d'équipements de toutes sortes, tout en leur assurant des performances et des vitesses commerciales compatibles avec les besoins des systèmes de transport.

[0003] On ne connaît pas à ce jour de solution au problème de l'autonomie vis à vis de la caténaire de tramways de grands gabarits.

[0004] Les solutions tendant à permettre la circulation autonome, sans caténaire, de véhicules électriques, ne concernent que les petits véhicules de faible capacité et de masse, de l'ordre de 30 tonnes.

[0005] Il existe des systèmes de captation continue de l'énergie électrique par le sol mais ces systèmes posent des problèmes difficiles et coûteux de sécurité et de génie civil.

[0006] L'invention vise à remédier aux inconvénients des dispositifs de la technique antérieure en créant un système d'alimentation en énergie électrique d'un tramway autonome de grande capacité qui allie la simplicité de conception à un prix de revient raisonnable et à une relative facilité d'installation.

[0007] Elle a donc pour objet un système d'alimentation d'un véhicule à traction électrique équipé de moteurs électriques de traction alimentés par un système de traction et des moyens à pantographe de connexion du système de traction à une caténaire, caractérisé en ce qu'il comporte en outre en combinaison, un dispositif d'alimentation autonome embarqué à bord d'un véhicule et comprenant un système à accumulation cinétique d'énergie à machine tournante à rotor formant volant d'inertie et fonctionnant soit en moteur, soit en génératrice, des moyens de connexion du système à accumulation cinétique d'énergie en régime de charge au secteur d'alimentation pendant les arrêts du véhicule dans des stations, et en régime de décharge, au système de traction, ledit système à accumulation cinétique d'énergie étant un système de récupération de l'énergie de freinage du véhicule.

[0008] Suivant d'autres caractéristiques de l'invention :

- le dispositif d'alimentation autonome comporte en outre un système d'autonomie de secours pouvant être relié au secteur en vue de sa recharge ou au système de traction en vue de l'alimentation de ce-

lui-ci en mode dégradé, comprenant une batterie de traction et un chargeur de ladite batterie à partir du secteur, et des moyens de commutation du système d'autonomie de secours, soit sur le système de traction, soit sur le secteur;

- le système d'alimentation comporte en outre dans chaque station, un fil de contact d'alimentation du système à accumulation cinétique d'énergie à partir du secteur par l'intermédiaire desdits moyens de connexion du système de traction à la caténaire;
- le système d'alimentation comporte en outre des moyens de commande des moyens de connexion à pantographe en vue de leur mise en contact avec le fil de contact dès l'arrivée du véhicule dans une station et des moyens de commande de retrait des moyens de connexion à pantographe par rapport au fil de contact lorsque le véhicule quitte la station;
- le système d'alimentation comporte des moyens de gestion de l'énergie du système à accumulation cinétique d'énergie en vue de permettre au véhicule d'utiliser au mieux l'énergie dudit système pour lui permettre d'effectuer son parcours entre des recharges à partir du secteur à haute tension dans deux stations successives, un capteur du courant débité par le système à accumulation cinétique d'énergie vers le système de traction, des moyens tachymétriques de détermination de la vitesse de rotation d'au moins deux moteurs électriques de traction du véhicule et de la distance parcourue par le véhicule et un capteur de la vitesse du volant de la machine tournante du système à accumulation cinétique d'énergie étant associés auxdits moyens de gestion;
- lesdits moyens de gestion comportent un ordinateur central de bord relié par un réseau informatique de bord à un circuit électronique de commande du système de traction et un circuit électronique de commande du système à accumulation cinétique d'énergie;
- l'ordinateur central de bord du véhicule contient des valeurs de vitesses correspondant à des énergies restant à fournir jusqu'au prochain arrêt du véhicule dans une station, lesdites valeurs d'énergie étant destinées à être comparées avec l'énergie encore disponible dans le système à accumulation cinétique d'énergie pour délivrer au système de traction des instructions de consigne de limitation de vitesse lorsque le véhicule est dans l'état de traction;
- le circuit électronique de commande des moyens à accumulation cinétique d'énergie comporte des moyens d'actionnement des moyens de commutation du système d'autonomie de secours sur le système de traction lorsque l'énergie disponible sur le système à accumulation cinétique d'énergie atteint une valeur minimale prédéterminée au-dessous de laquelle le système à accumulation cinétique d'énergie n'est plus rechargeable en station au cours d'une durée d'arrêt normale.

[0009] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig. 1 est un schéma électrique du circuit de puissance du dispositif d'alimentation en énergie électrique d'un tramway suivant l'invention;
- la Fig. 2 est une vue schématique d'un arrêt de tramway comportant des moyens d'alimentation en énergie électrique des moyens rechargeables disposés à bord du véhicule;
- la Fig. 3 est une vue schématique du système de gestion de l'énergie d'alimentation du tramway; et
- la Fig. 4 est un graphique représentant la gestion de la puissance consommée sur le volant d'inertie du système à récupération cinétique d'énergie.

[0010] Afin de résoudre le problème de l'alimentation en énergie électrique d'un véhicule qui doit parcourir un itinéraire en majeure partie en mode autonome, la Demanderesse a envisagé les solutions suivantes :

- recharge rapide au cours des arrêts du véhicule dans les stations, d'un système d'accumulation d'énergie cinétique,
- récupération de l'énergie de freinage du véhicule,
- réutilisation optimale en mode autonomie des constituants de base du tramway tels que pantographes, équipements de traction, moteurs, etc.,
- gestion électronique de l'énergie à bord du véhicule avec contrôle actif de la consommation en mode de secours sur batterie,
- circulation en mode conventionnel par captage d'énergie sur caténaire, à l'extérieur de la zone urbaine.

[0011] Sur la figure 1, on a représenté le schéma du circuit de puissance d'un tramway autonome combinant un certain nombre des solutions énoncées plus haut.

[0012] Ce circuit comporte un système de traction 1 alimentant des moteurs M1, M2, M3, M4 d'entraînement des roues du véhicule.

[0013] Le système de traction 1 est alimenté d'une part en régime conventionnel par un pantographe 2 à partir d'une caténaire 3 et d'autre part, en régime autonome par un dispositif d'alimentation autonome embarqué à bord du véhicule et désigné par la référence numérique générale 4.

[0014] Le dispositif embarqué 4 comporte un système 5 à accumulation cinétique d'énergie et un système 6 d'autonomie de secours tous deux connectés à un point commun 7 avec le pantographe 2 de transmission de l'énergie d'alimentation à partir de la caténaire 3.

[0015] Le système 5 à accumulation cinétique d'énergie comporte un moteur synchrone 10 polyphasé à aimants permanents dont le rotor est de façon en soi connue, disposé à l'extérieur et fait office de masse

d'inertie.

[0016] Ce moteur est associé à un dispositif électronique d'alimentation 11 à fréquence variable qui permet de réguler une tension fixe en fonction de la vitesse du moteur 10. L'alimentation d'une phase du moteur 10 à l'aide d'un pont de transistors IGBT 12, est représentée sur la figure 1.

[0017] En régime de recharge, la masse du rotor du moteur 10 est entraînée à une vitesse élevée.

[0018] En régime de décharge, le moteur fonctionne en génératrice et fournit de l'énergie au système de traction 1.

[0019] La tension d'alimentation du système à accumulation cinétique d'énergie sur le réseau haute tension est fixée à une valeur comprise entre 700 V et 800 V, ce qui permet un fonctionnement du système de traction 1 identique, que celui-ci soit alimenté par la caténaire (tension typique de 750V) ou par le système à accumulation cinétique d'énergie 5.

[0020] Ceci permet notamment :

- de garantir de bonnes performances aux véhicules en mode d'autonomie;
- de commuter aisément entre alimentation par caténaire et alimentation par le système à accumulation cinétique d'énergie 5 sans faire appel à un système électronique de conversion de tension ni à un organe électromagnétique de connexion;
- une grande capacité de recharge du système à accumulation cinétique d'énergie 5 à partir de l'énergie de freinage récupérée du système de traction 1.

[0021] Le système d'autonomie de secours 6 comporte une batterie de traction 14 à laquelle est associé un chargeur 16 connecté au pantographe 2 afin de le relier soit à la caténaire 3, soit à un circuit d'alimentation extérieur qui sera décrit en référence à la figure 2.

[0022] Le système d'autonomie de secours 6 peut être connecté par des interrupteurs 17 en combinaison avec un interrupteur 18, au système de traction 1.

[0023] Il peut également être connecté par l'intermédiaire d'un interrupteur 19 au secteur d'alimentation 3 pour assurer la charge de la batterie de traction 14.

[0024] Une connexion 20 permet l'alimentation du système de traction 1 par le système 5 à accumulation cinétique d'énergie.

[0025] Sur la figure 2, on a représenté schématiquement une station d'arrêt pour un tramway équipé du système d'alimentation de l'invention. Cette station comporte un auvent 22 qui porte un fil de contact 23 situé au-dessus de la voie 24 et alimenté par le secteur à haute tension, ce fil étant destiné à coopérer avec le pantographe 2 du tramway pour assurer la recharge du système à accumulation cinétique d'énergie 5 et du système d'autonomie de secours 6 pendant l'arrêt du tramway dans la station.

[0026] L'originalité de cette architecture réside notamment dans le fait qu'en mode autonomie, le système

à accumulation cinétique d'énergie 5 fournit à lui seul l'énergie aux équipements auxiliaires du tramway et au système de traction 1. Il n'y a pas de complément d'énergie thermique, électrochimique ou électrique en parallèle sur le système à accumulation cinétique d'énergie. Mais ceci n'est réalisable avec un niveau de performance et de fiabilité suffisant que si les dispositions suivantes sont prévues :

- Une recharge du système à accumulation d'énergie 5 dans les stations. Le principe de recharge est décrit ci-après par des dispositions simples de captage et de génie civil dans les stations.
- Une gestion en temps réel de l'énergie disponible comme décrit ci-après. Cette gestion permet d'optimiser les performances du mode autonomie par rapport au profil de consommation imposé par la ligne et par la conduite. Par ailleurs, le système d'autonomie de secours 6 permet, dans les cas ultimes de décharge du système à accumulation cinétique d'énergie 5, la circulation du véhicule en mode dégradé à vitesse réduite (typiquement 25 km/h) jusqu'à la prochaine station ou une zone sous caténaire.

**[0027]** Le séquençement du fonctionnement est le suivant : On va donner à titre d'exemple le passage du véhicule d'une zone sous caténaire à une zone en autonomie.

1) Sur commande du conducteur lors de l'arrêt en station (Fig.2), le pantographe 2 est descendu par un dispositif conventionnel de commande (non représenté), les équipements auxiliaires passent en puissance réduite et sont alimentés par le système à accumulation cinétique d'énergie 5 qui commute en générateur d'énergie.

2) Sur demande du système de traction 1, le système à accumulation cinétique d'énergie 5 fournit alors la puissance nécessaire, ce qui permet le démarrage et la montée en vitesse du véhicule; en freinage, le système de traction 1 envoie de l'énergie au système à accumulation cinétique d'énergie 5.

3) En cas de nécessité de reprises de traction, d'arrêts intempestifs imposés par la conduite ou par la ligne, la consommation sur le système à accumulation cinétique d'énergie 5 augmente sensiblement; une gestion de l'énergie qui sera décrite en référence à la Fig.3, permet alors de limiter cette consommation en optimisant les performances de traction du véhicule tout en lui garantissant une énergie suffisante pour atteindre une prochaine station.

4) A la prochaine station, le pantographe 2 est actionné dans le sens de la montée et le captage d'énergie est effectif en un temps minimal, ce qui permet la recharge du système à accumulation ci-

nétique d'énergie 5 et l'alimentation à puissance maximale des auxiliaires du véhicule par le fil de contact 23 (Fig.2).

5 **[0028]** Les niveaux de tensions délivrés par le système à accumulation cinétique d'énergie 5, la caténaire 3 et le fil de contact 23, sont compatibles, ce qui permet des commutations aisées de ces sources vis à vis des charges utilisatrices.

10 **[0029]** Les performances du système suivant l'invention en mode autonomie sont les suivantes.

**[0030]** Sur un parcours type de 500 m entre deux stations, pour une vitesse maximale comprise entre 50 et 60 km/h, les calculs montrent qu'il est possible, par le freinage de récupérer de l'ordre de 30 à 40% de l'énergie consommée en traction. Le complément d'énergie est alors aisément récupérable par les performances de recharge du système à accumulation cinétique d'énergie 5 lors d'un arrêt en station d'une durée typique de 15 à 20 s suivant le niveau de décharge.

**[0031]** Ces performances permettent la suppression de la caténaire sur les nouvelles lignes de tramway, en particulier en centre ville où la vitesse est généralement limitée à 50 km/h; la caténaire ne devient nécessaire que pour des profils particuliers de ligne avec des pentes importantes, ou sur des zones extra-urbaines avec des longueurs importantes entre stations ou nécessitant des vitesses maximales élevées.

**[0032]** Le captage d'énergie en station est assuré comme suit.

30 **[0033]** Le principe de captage en station est identique à celui sous caténaire. On réutilise le pantographe 2 et le captage s'effectue par le fil 23 situé à hauteur minimale (typiquement 3,60m à 4m) sous l'auvent 22 de la station.

35 **[0034]** Ce fil peut être souple ou rigide et intégré dans l'architecture et l'urbanisme des stations comme représenté à la figure 2.

**[0035]** Cette solution ne pose pas de problème de sécurité spécifique puisqu'elle est identique à la captation par caténaire.

40 **[0036]** Afin de minimiser le temps de montée du pantographe 2 lors de l'arrivée en station, il est envisageable d'utiliser les balises d'aide à l'exploitation disposées à l'entrée de chaque station, et dont la détection par le véhicule commanderait l'ordre de montée du pantographe 2.

**[0037]** La descente du pantographe est commandée par l'ordre de départ du conducteur, le démarrage du véhicule est temporisé et n'est effectif que sur retour d'information du pantographe 2 en position basse.

50 **[0038]** Le temps de montée et de descente du pantographe à cette hauteur de captage est de l'ordre de 1 s.

**[0039]** Ainsi qu'on l'a indiqué plus haut, le bon fonctionnement du système suivant l'invention est conditionné par une gestion rigoureuse de l'énergie disponible.

55 **[0040]** La figure 3 représente de façon schématique, les moyens de gestion mis en oeuvre dans le système

d'alimentation suivant l'invention.

**[0041]** Ces moyens de gestion comprennent des capteurs 25 de la vitesse de rotation de deux des moteurs de traction M1 à M4, connectés à une centrale de tachymétrie 26.

**[0042]** Par ailleurs, au système de traction est associée un circuit électronique de commande 28 qui est relié d'une part à un manipulateur de conduite 30 et d'autre part, à un réseau informatique de bord 32 dont il reçoit des consignes de vitesse.

**[0043]** Le réseau informatique de bord 32 est relié à un ordinateur central de bord 34 et à la centrale tachymétrique 26.

**[0044]** Il est par ailleurs en liaison avec un circuit électronique de commande 36 associé au système à accumulation cinétique d'énergie 5 dont la machine tournante 10 est reliée à un capteur 38 de vitesse du volant d'inertie.

**[0045]** Un capteur de courant 40 est connecté dans la ligne reliant le système à accumulation cinétique d'énergie 5 au système de traction 1.

**[0046]** La gestion de l'énergie du système suivant l'invention est assurée de la façon suivante.

**[0047]** Le système à accumulation cinétique d'énergie 5 délivre ou consomme une puissance  $P$  proportionnelle à sa vitesse de rotation  $\Omega$ ,  $P = k_1 \Omega$ .

**[0048]** L'énergie totale  $E$  emmagasinée dans le système à accumulation cinétique d'énergie 5 est proportionnelle à un moment d'inertie, soit  $E = k_2 \Omega^2$ .

**[0049]** En tout point de vitesse  $\Omega$ , le contrôle de l'énergie du système à accumulation cinétique d'énergie s'effectue donc dans un plan (puissance, énergie), avec pour chaque variation de vitesse  $\Delta\Omega$ , une variation de puissance  $\Delta P = k_1 \Delta\Omega$  et une variation d'énergie  $\Delta E = k_2 \Delta\Omega^2$ .

**[0050]** On remarquera que la représentation de l'énergie consommée en fonction de la puissance instantanée s'effectue selon une parabole passant par le point de puissance maximale  $P_m$  pour une énergie maximale  $E_m$  et pour la vitesse maximale de rotation  $\Omega_m$  du système à accumulation cinétique d'énergie.

**[0051]** Pour des facilités de mesure, ainsi qu'une meilleure précision, la mesure d'énergie est réalisée à partir de la mesure du courant  $I$  consommé ou récupéré par le système à accumulation cinétique d'énergie (selon son signe), car le système à accumulation cinétique d'énergie régule une tension constante dans une très large plage de rotation, ce qui signifie que le courant  $I$  est proportionnel à la puissance  $P$ .

**[0052]** Cette mesure est réalisée par le circuit électronique de commande 36 du système à accumulation cinétique d'énergie associé au capteur de courant 40 et qui calcule par intégration sur un pas d'échantillonnage, l'énergie consommée et l'énergie restante, en tenant également compte dans ce calcul les valeurs de rendements correspondantes.

**[0053]** Le repérage du véhicule sur le parcours est assuré comme suit.

**[0054]** Le tramway possède de façon classique, un équipement de mesure de vitesse (centrale tachymétrique 26), qui reçoit les mesures de vitesse de deux des moteurs de traction M1 et M4 et en tire une valeur de vitesse de référence du véhicule, ainsi qu'une valeur de distance parcourue à partir d'un instant donné (fonction odomètre); ceci permet à l'ordinateur central 34 du véhicule de connaître sa position réelle sur le parcours (interstation et position dans l'interstation).

**[0055]** Il est également possible de recalculer la position du véhicule via des balises radio (non représentées), situées à différents points du parcours; ces dispositions sont optionnelles mais existent généralement de manière classique sur les lignes modernes pour l'aide à l'exploitation.

**[0056]** La consommation énergétique dans les conditions nominales de conduite et d'exploitation du tramway sur chaque interstation est mesurée en phase d'essais préliminaires sur la ligne pour différentes vitesses maximales et est mémorisée dans l'ordinateur central 34 de chaque véhicule.

**[0057]** Pour chaque interstation et en tout point donné par un pas de distance  $pk$  de l'ordre de la longueur du véhicule (30 à 40 m), l'ordinateur central de bord 34 connaît donc les consommations énergétiques nominales à fournir  $E(v, pk)$  pour différentes vitesses maximales  $v$ , jusqu'au prochain arrêt en station.

**[0058]** Lorsque l'ordinateur central 34 détecte en traction et sur au moins deux pas de distance, une surconsommation sur le système à accumulation cinétique d'énergie (seuil réglable de l'ordre de 20% de surconsommation par exemple), il recherche en mémoire dans sa table de consommation la valeur de vitesse  $v = V_r$  pour laquelle l'énergie restant à fournir jusqu'au prochain arrêt dans une station (en intégrant le freinage), est immédiatement inférieure à un seuil limite calculé pour pouvoir recharger le volant pendant le temps d'arrêt prévu pour cette station.

**[0059]** Cette valeur de vitesse  $V_r$  est alors émise par l'ordinateur de bord 34 à destination du système de traction 1 qui applique cette consigne de limitation de vitesse lorsque le manipulateur de conduite 30 est en position traction; un signal de réduction de vitesse est également émis en cabine pour le conducteur.

**[0060]** En freinage, cette réduction est inhibée afin de rendre maximale la récupération d'énergie.

**[0061]** Lorsque la réduction de vitesse est trop importante ou que le capteur de vitesse 38 du système à accumulation cinétique d'énergie détecte un seuil vitesse minimal du volant d'inertie du moteur 10, le système à accumulation cinétique d'énergie régule alors une tension de sortie plus faible, afin d'adapter cette tension à la tension du système d'autonomie de secours 6 jusqu'à en sauvegarde; une commutation automatique est alors réalisée sur ce système de secours 6 par le circuit électronique de commande 36 qui ferme les interrupteurs 17 (Fig. 1).

**[0062]** Le système à batterie 14 permet la circulation

du véhicule en mode dégradé à vitesse réduite (typiquement 25 km/h) jusqu'au prochain arrêt en station; ce mode est un mode exceptionnel et la batterie 14 est peu sollicitée en nombre de cycles, donc en durée de vie.

[0063] Le système à batterie est rechargé par un chargeur spécifique en dépôt ou à partir de la caténaire 3 lorsque le véhicule circule sur des zones de ligne avec caténaire (Fig. 1).

[0064] Le principe de contrôle actif d'énergie est représenté schématiquement à la figure 4 à travers l'exemple d'interstation suivant.

[0065] Le premier démarrage ainsi que le premier parcours jusqu'à l'arrêt du véhicule est représenté par une boucle désignée par des flèches simples.

[0066] La puissance totale consommée est inférieure à la puissance maximale disponible sur le système à accumulation cinétique d'énergie 5.

[0067] Au cours de ce premier cycle, la vitesse atteint une valeur maximale au point  $E_1$ , puis se maintient à cette valeur au cours du tronçon  $E_1F_1$ . Au cours du tronçon  $F_1A_2$  se produit un freinage avec récupération d'énergie.

[0068] Le second démarrage et le second parcours jusqu'à l'arrêt suivant du véhicule est représenté par une boucle  $A_2B_2C_2D_2E_2A_3$  désignée par les flèches doubles.

[0069] La puissance consommée est régulée par le système de traction à la limite de la caractéristique maximale du système à accumulation cinétique d'énergie 5; au cours de la phase de traction, l'ordinateur central 24 mesure une surconsommation sur le système à accumulation cinétique d'énergie 5 par rapport au profil de consommation mémorisé sur cette interstation; une réduction de vitesse est donc imposée au véhicule.

[0070] Au cours du tronçon  $B_2C_2$ , la vitesse croît mais ne peut être maintenue à la vitesse maximale de sorte que pendant le tronçon  $B_2C_2$ , on procède au contrôle de l'énergie consommée comparée à un gabarit d'énergie par réduction de la consigne de vitesse.

[0071] Au cours du tronçon  $C_2D_2$ , on atteint un nouveau palier de vitesse. Cette vitesse inférieure à la vitesse au cours du palier  $E_1F_1$  est maintenue au cours du palier  $D_2E_2$ .

[0072] Puis au cours du tronçon  $E_2A_3$ , intervient un freinage avec récupération d'énergie jusqu'à l'arrêt du véhicule.

[0073] Le troisième démarrage est supposé inopiné, ce qui induit une surconsommation avec réduction de vitesse maximale.

[0074] Le troisième démarrage et le troisième parcours jusqu'à l'arrêt sont représentés par la boucle  $A_3B_3C_3D_3E_3F_3$  désignée par des flèches triples.

[0075] Au cours du tronçon  $A_3B_3$  le véhicule passe de l'arrêt à une vitesse maximale compatible avec l'énergie restant disponible dans le système à accumulation cinétique d'énergie 5.

[0076] Au cours du tronçon  $B_3C_3$ , il y a à nouveau réduction de la vitesse de consigne et au cours du tronçon

$C_3D_3$ , la vitesse du véhicule évolue vers un palier qui se maintient au cours du tronçon  $D_3E_3$ .

[0077] On voit qu'au cours de ce palier, la zone limite de décharge du volant 10 (Fig.1) indiquée par la ligne horizontale en pointillé L, est dépassée.

[0078] Cependant, un freinage, au cours du tronçon  $E_3F_3$  assure une récupération d'énergie qui lors de l'arrêt du véhicule au point  $F_3$  ramène l'énergie disponible à la limite de décharge du volant, de sorte que si l'arrêt au point  $F_3$  se trouve à une station disposant de moyens de charge, le volant 10 du moteur peut être relancé de manière à atteindre une énergie suffisante au cours du temps de stationnement du véhicule pour lui permettre de poursuivre normalement son parcours.

[0079] Si au contraire, le palier de vitesse se prolonge au-delà du tronçon  $D_3E_3$ , comme indiqué en pointillé par la flèche f, il y a commutation sur le système d'autonomie de secours 6 qui permet d'alimenter le système de traction 1 de façon que le tramway puisse rejoindre la prochaine station en régime dégradé avec une vitesse de l'ordre de 25 km/h.

[0080] Cette commutation est assurée par le circuit électronique de commande 36 qui commande la fermeture des interrupteurs 17 (Fig.1).

[0081] Grâce à l'agencement qui vient d'être décrit, le système d'alimentation pour véhicule à traction électrique permet au véhicule de présenter des performances très bien adaptées aux parcours urbains.

[0082] Par ailleurs, le coût d'un tel système est relativement réduit par rapport aux performances obtenues tandis que sa sécurité et sa fiabilité sont remarquables.

## Revendications

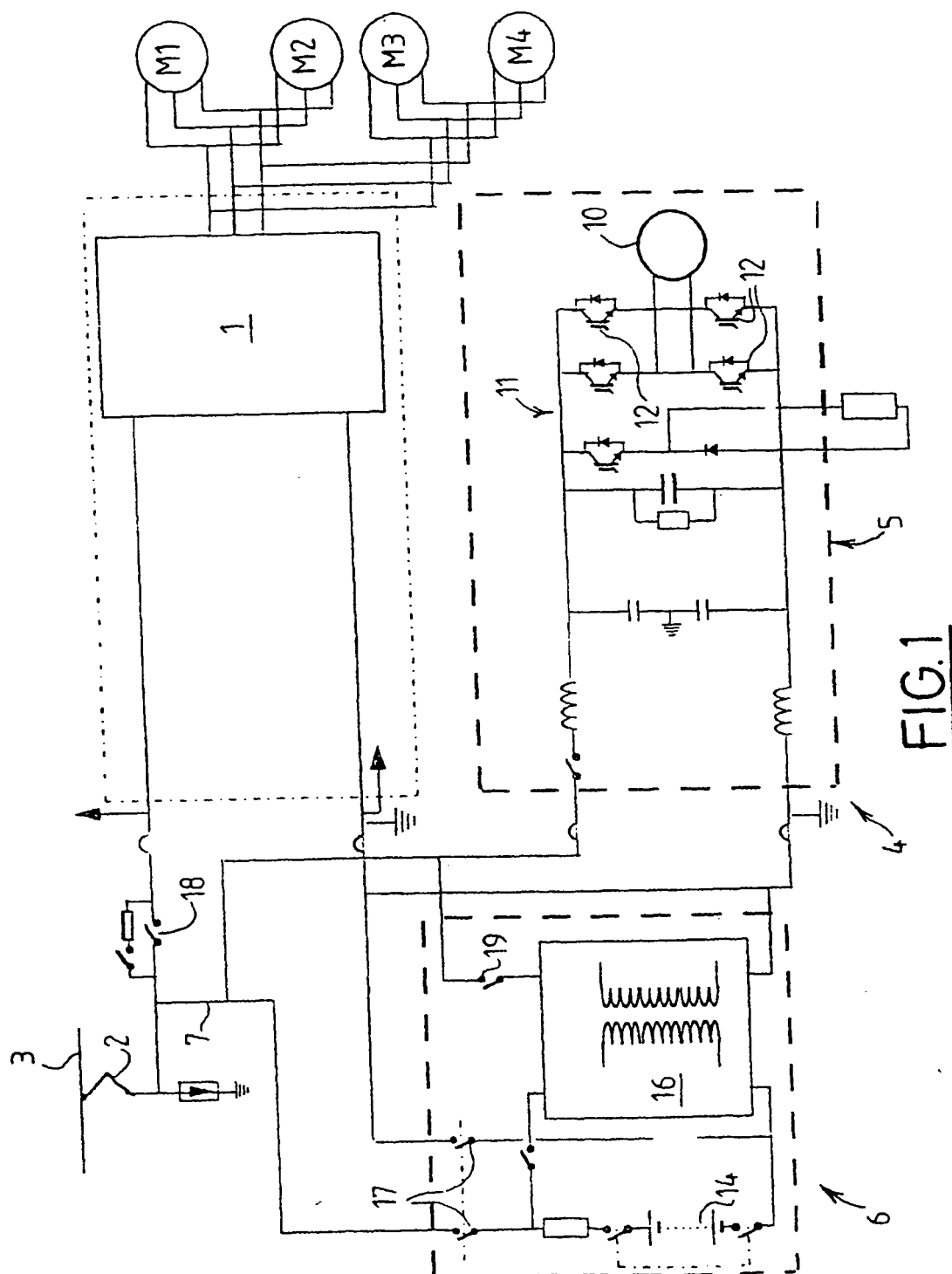
1. Système d'alimentation d'un véhicule à traction électrique équipé de moteurs électriques de traction (M1 à M4) alimentés par un système de traction et des moyens à pantographe (2) de connexion du système de traction (1) à un caténaire (3), caractérisé en ce qu'il comporte en outre en combinaison, un dispositif d'alimentation autonome embarqué à bord d'un véhicule et comprenant un système (5) à accumulation cinétique d'énergie à machine tournante à rotor formant volant d'inertie et fonctionnant soit en moteur, soit en génératrice, des moyens (2,18) de connexion du système (5) à accumulation cinétique d'énergie en régime de charge au secteur d'alimentation pendant les arrêts du véhicule dans des stations, et en régime de décharge, au système de traction (1), ledit système (5) à accumulation cinétique d'énergie étant un système de récupération de l'énergie de freinage du véhicule.
2. Système d'alimentation suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif d'alimentation autonome (4) comporte en outre un système d'autonomie de secours (6) pouvant être relié au secteur

en vue de sa recharge ou au système de traction (1) en vue de l'alimentation de celui-ci en mode dégradé, et comprenant une batterie de traction (14) et un chargeur (16) de ladite batterie à partir du secteur, et des moyens (17, 19) de commutation du système d'autonomie de secours (6), soit sur le système de traction, soit sur le secteur.

3. Système d'alimentation suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte en outre dans chaque station, un fil de contact (23) d'alimentation du système à accumulation cinétique d'énergie (5) à partir du secteur par l'intermédiaire desdits moyens (2, 18) de connexion du système de traction à la caténaire (3). 10
4. Système d'alimentation suivant la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens de commande des moyens de connexion à pantographe (2) en vue de leur mise en contact avec le fil de contact (23) dès l'arrivée du véhicule dans une station et des moyens de commande de retrait des moyens de connexion à pantographe (2) par rapport au fil de contact (23) lorsque le véhicule quitte la station. 20
5. Système d'alimentation suivant l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (28, 32, 34, 36) de gestion de l'énergie du système à accumulation cinétique d'énergie (5) en vue de permettre au véhicule d'utiliser au mieux l'énergie dudit système pour lui permettre d'effectuer son parcours entre des recharges à partir du secteur à haute tension dans deux stations successives, un capteur (40) du courant débité par le système à accumulation cinétique d'énergie (5) vers le système de traction (1), des moyens tachymétriques (25, 26) de détermination de la vitesse de rotation d'au moins deux moteurs électriques (M1, M4) de traction du véhicule et de la distance parcourue par le véhicule et un capteur (38) de la vitesse du volant de la machine tournante (10) du système à accumulation cinétique d'énergie étant associés auxdits moyens de gestion. 30
6. Système d'alimentation suivant la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens de gestion comportent un ordinateur central de bord (34) relié par un réseau informatique de bord (32) à un circuit électronique de commande (28) du système de traction (1) et un circuit électronique de commande (36) du système à accumulation cinétique d'énergie (5). 35
7. Système d'alimentation suivant la revendication 6, caractérisé en ce que l'ordinateur central de bord (34) du véhicule contient des valeurs de vitesses correspondant à des énergies restant à fournir jus- 40

qu'au prochain arrêt du véhicule dans une station, lesdites valeurs d'énergie étant destinées à être comparées avec l'énergie encore disponible dans le système (5) à accumulation cinétique d'énergie pour délivrer au système de traction (1) des instructions de consigne de limitation de vitesse lorsque le véhicule est dans l'état de traction. 45

8. Système d'alimentation suivant la revendication 6, caractérisé en ce que le circuit électronique de commande (36) des moyens (5) à accumulation cinétique d'énergie comporte des moyens d'actionnement des moyens de commutation (17) du système d'autonomie de secours (6) sur le système de traction (1) lorsque l'énergie disponible sur le système (5) à accumulation cinétique d'énergie atteint une valeur minimale prédéterminée au-dessous de laquelle le système à accumulation cinétique d'énergie (5) n'est plus rechargeable en station au cours d'une durée d'arrêt normale. 50





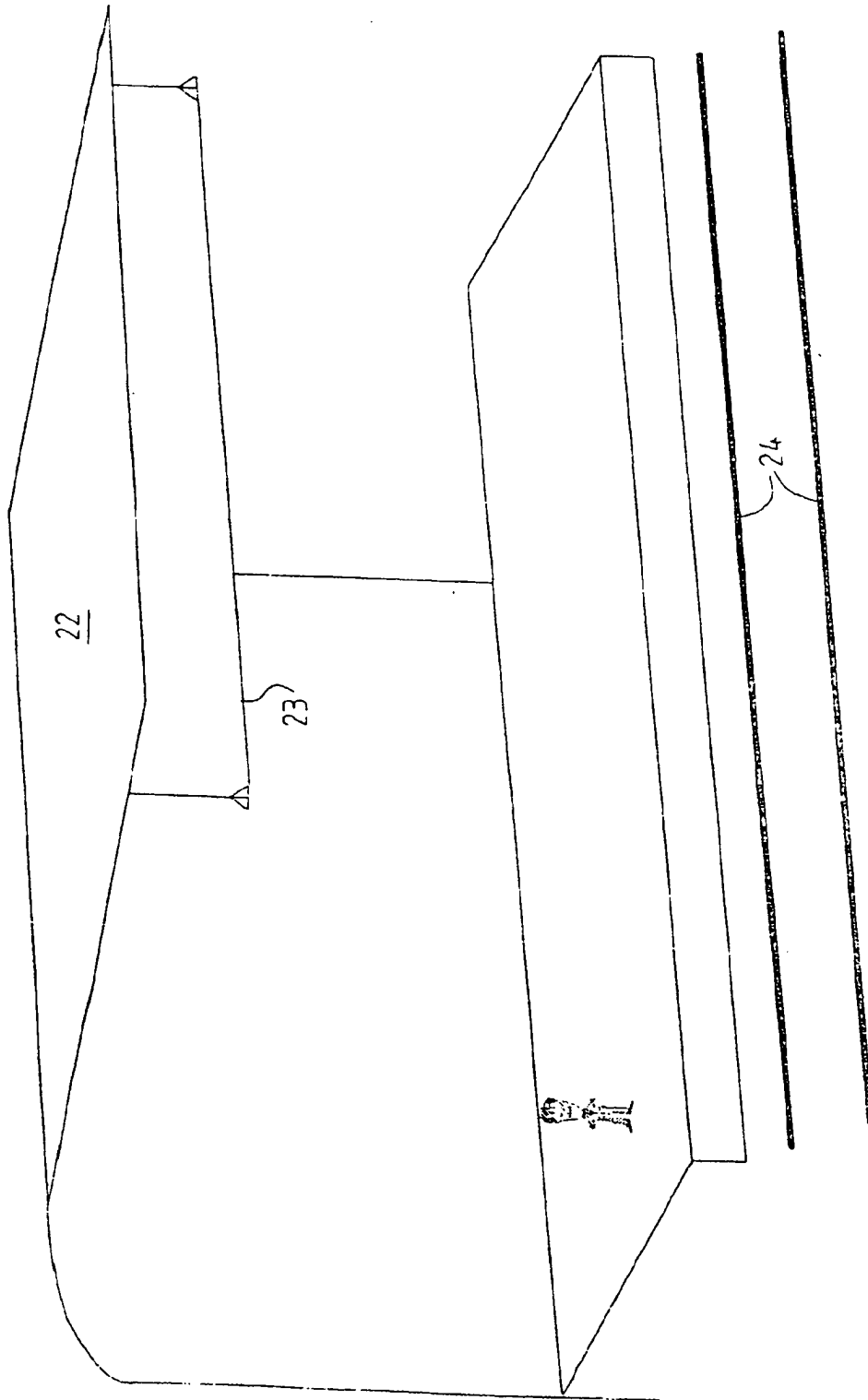


FIG. 2

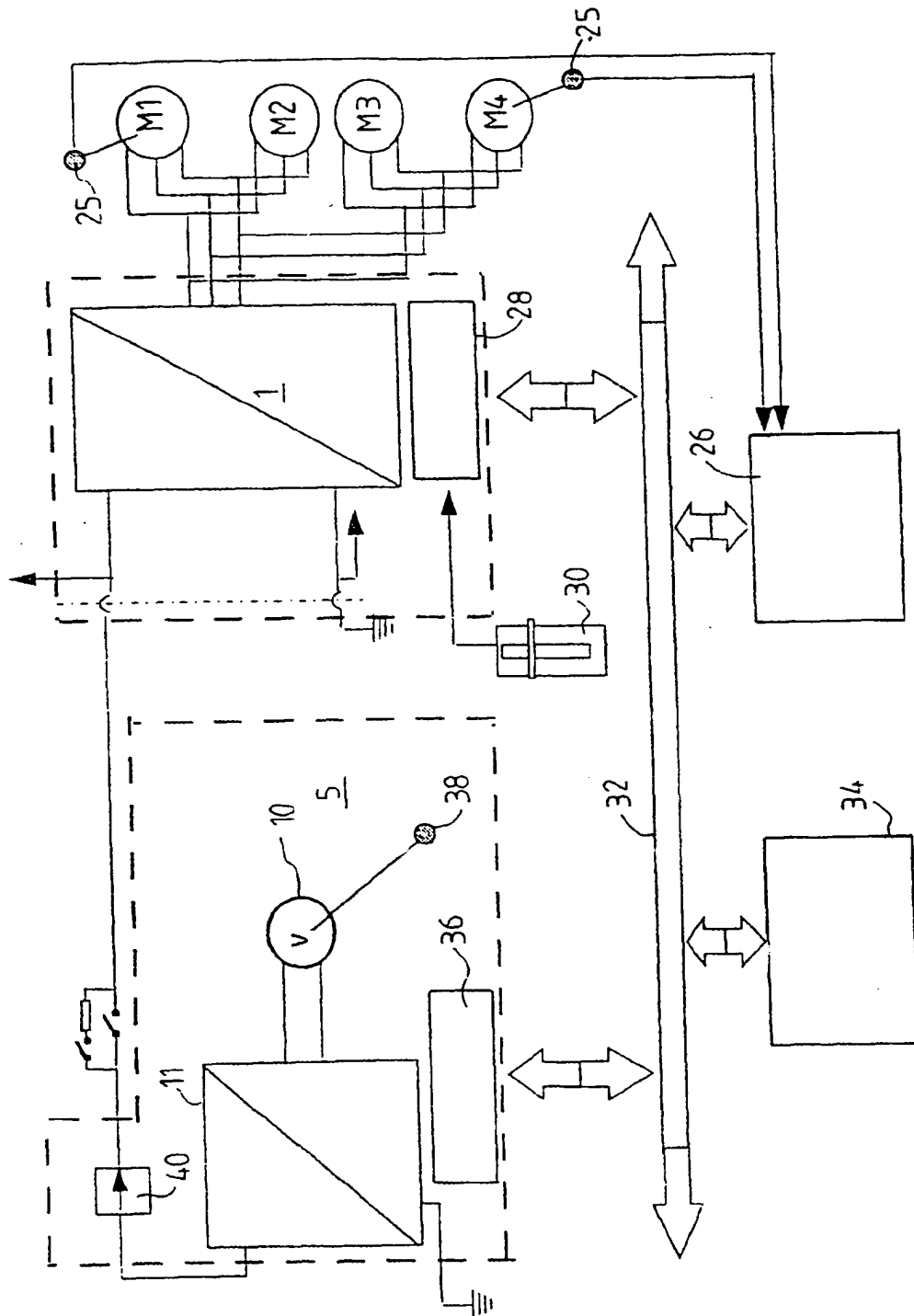


FIG. 3

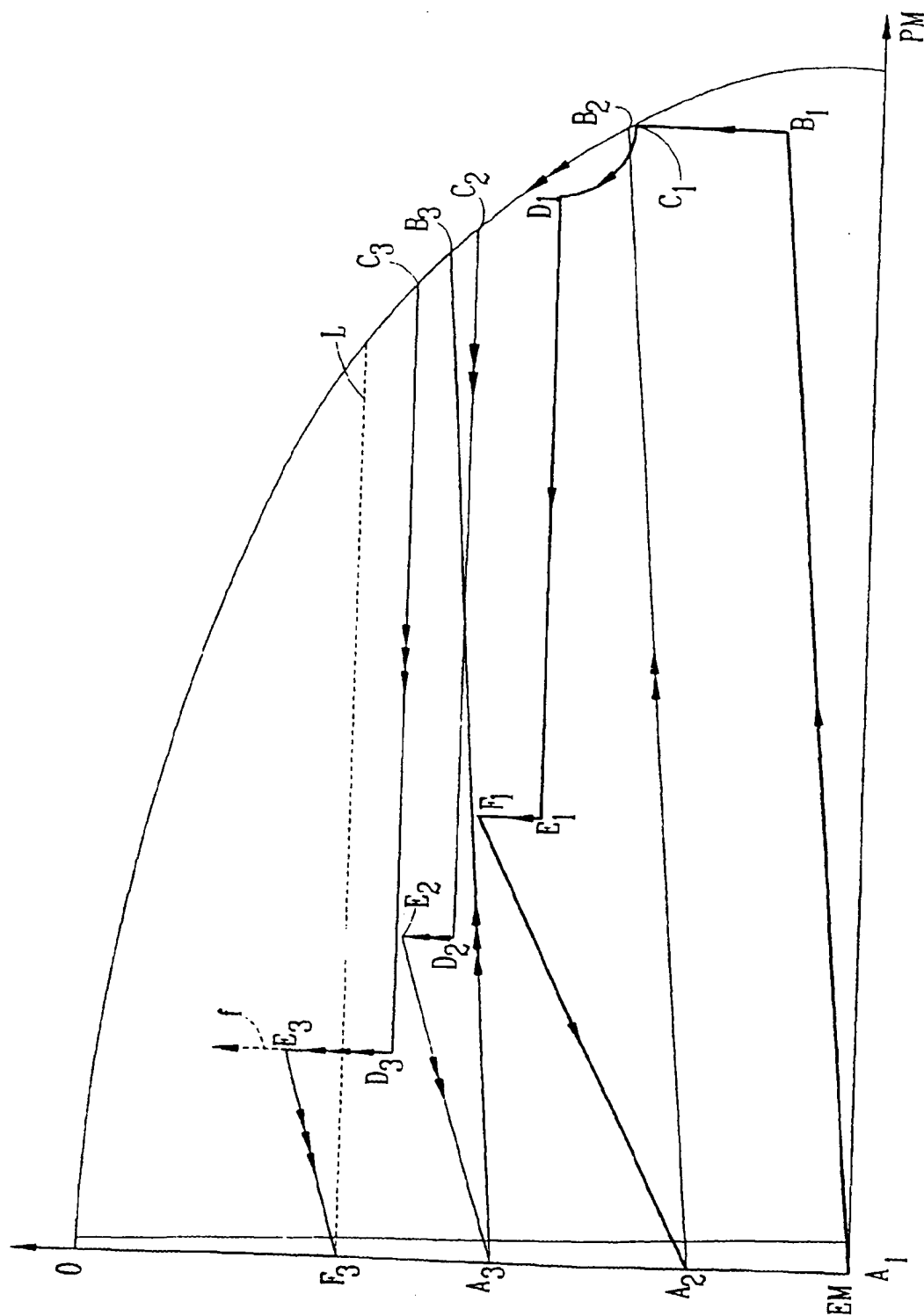


FIG. 4



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 99 40 2060

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes   | Revendication concernée                                     | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)          |
| Y  | DE 24 05 198 A (BOSSI OSCAR DR ING)<br>22 août 1974 (1974-08-22)<br>* le document en entier *   | 1-4   | B60L11/18                                    |
| Y  | DE 31 01 655 A (SIEMENS AG)<br>3 décembre 1981 (1981-12-03)<br>* page 7, ligne 17; revendication 1; figure 1 *  | 1-4   |  |
| A  | FR 2 756 118 A (MOTEURS FOX)<br>22 mai 1998 (1998-05-22)<br>* le document en entier *   | 1-8   |  |
| A  | SCHAIBLE U ET AL: "A TORQUE CONTROLLED<br>HIGH SPEED FLYWHEEL ENERGY STORAGE SYSTEM<br>FOR PEAK POWER TRANSFER IN ELECTRIC<br>VEHICLES"<br>CONFERENCE RECORD OF THE INDUSTRY<br>APPLICATIONS CONFERENCE, DENVER, OCT. 2 -<br>5, 1994,<br>vol. 1, no. CONF. 29,<br>2 octobre 1994 (1994-10-02), pages<br>435-442, XP000514786<br>INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS<br>ENGINEERS<br>* le document en entier * | 5-8   |  |
|  |   |   | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHES (Int.Cl.7) |
|  |   |   | B60L   |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications   |   |   |  |
| Lieu de la recherche<br><b>LA HAYE</b>   |   | Date d'achèvement de la recherche<br><b>1 novembre 1999</b> | Examineur<br><b>Beyer, F</b>                 |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : schéma-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intermédiaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |   |   |  |

EPO FORM 1503 (04/92) (P.402)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 99 40 2060

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

01-11-1999

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| DE 2405198 A                                    | 22-08-1974             | US RE29994 E                            | 15-05-1979             |
| DE 3101655 A                                    | 03-12-1981             | AT 370043 B                             | 25-02-1983             |
|   |                        | AT 33280 A                              | 15-07-1982             |
|   |                        | CH 654258 A                             | 14-02-1986             |
| FR 2756118 A                                    | 22-05-1998             | AUCUN                                   |                        |

EPO FORM P0400

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

